

УДК 603.519

ДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ С ТЕХНОЛОГИЕЙ АТМ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ

Елена Зайченко

НТУУ «КПИ» ННК «Институт прикладного системного анализа»

Анотація: Сформульовані нові задачі структурного синтезу комп'ютерних мереж АТМ (Asynchronous Transfer Mode) з урахуванням динаміки їх розвитку та наданих капітальних вкладень за етапами.

Summary: The new problems of ATM computer networks structural synthesis with the account of dynamics of their development are considered. The algorithms of their solution are suggested. The experimental investigations of the algorithm are presented out at the example of Ukrainian global network design.

Ключові слова: Комп'ютерні мережі АТМ, динамічна задача проектування мереж, синтез структури мереж.

Введение

Процесс создания глобальных сетей занимает длительный период времени (5–10 лет) и требует больших капитальных затрат. Кроме того, за этот период изменяются как потребности абонентов сети в обработке информации, так и стоимостные и функциональные характеристики компонентов сети. В связи с этим возникает проблема планирования развития архитектуры сети с некоторого исходного (нулевого) состояния до некоторого конечного, при котором общая производительность сети достигает требуемого уровня и полностью обеспечиваются потребности всех абонентов в передаче и обработке информации. Данная проблема приводит к необходимости постановки и решения динамических задач проектирования глобальных сетей с учетом этапов их развития и выделенных средств по этапам.

Целью данной статьи является постановка и формализация таких задач и разработка методов их решения.

I Постановка задачи

Рассмотрим постановку динамической задачи проектирования глобальной компьютерной сети, в которой сеть рассматривается как развивающаяся система, и построение которой представляется как многоэтапный процесс ее развития.

Заданы узлы сети x_j ; $j = \overline{1, n}$ (узлы коммутации), определены потребности в передаче информации (матрица требований) $H(t) = \|h_{ij}(t)\|$; $i, j = \overline{1, n}$, $t \in [t_0, T]$, где t_0 – момент начала создания сети, T – момент окончания создания функционально полной сети, $h_{ij}(t)$ – требуемая интенсивность информационного обмена между x_i и x_j в момент времени t .

Задан набор пропускных способностей каналов связи $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ и их удельных стоимостей $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$. Введены показатели качества обслуживания абонентов сети.

Требуется составить такой план создания сети по этапам, при котором обеспечивается минимум приведенных затрат при заданных потребностях в передаче информации и ограничениях на выделенные ресурсы.

В зависимости от исходных условий возможны две основные задачи проектирования структуры развивающихся сетей.

Задача 1: задано распределение затрат по этапам $\{w_k\}$, $k = \overline{1, K}$.

Задача 2: задана общая структура затрат и требуется распределить их по этапам оптимальным образом.

Математическая модель задачи 1.

Пусть D_0 – начальная структура сети, D_k – структура сети, получаемая в результате k -го этапа. В качестве критерия эффективности используем интегральный критерий – максимальный эффект от использования действующей части сети, который можно косвенно оценить величиной суммарного потока, передаваемого по сети $H_\Sigma(D_k)$.

Требуется найти такую последовательность структур сети на этапах D_1, D_2, \dots, D_K , при которых обеспечивается

$$\max \sum_{k=1}^K H_{\Sigma}(D_k) \quad (1)$$

при ограничениях

$$\Delta W(D_k/D_{k-1}) \leq W_k; \quad (2)$$

$$h_{ij}(D_k) = h_{ijzjz}, t = t_k; \quad (3)$$

$$h_{ij}(D_k) \leq h_{ijzad}(t_k); \quad (4)$$

где $H_{\Sigma}(D_k) = H_{\Sigma}(D_{k-1}) + \Delta H_{\Sigma}(D_k/D_{k-1})$, $T_{cp}(M, F) \leq T_{зад}$; W_k – объем капиталовложений, выделенных на этапе k .

При построении развивающейся сети вводим допущение о вложенности структур сети на последовательных этапах, т. е. $D_1 \subseteq D_2 \subseteq \dots \subseteq D_K$. Поэтому от задачи (1) мы переходим к последовательности задач вида:

$$\max_D (\Delta H_{\Sigma}(D_k/D_{k-1})) \quad (5)$$

при условиях

$$\Delta W(D_k/D_{k-1}) \leq W_k; \quad h_{ij}(D_k) \leq h_{ijzjz}(t_k) \quad (6)$$

Содержательный смысл задачи k -го этапа (5), (6) такой: имея исходную структуру D_{k-1} и объем капитальных вложений W_k , синтезировать такую структуру на k -м этапе D_k , которая обеспечивает максимум прироста производительности сети.

II Описание алгоритма задачи 1

Алгоритм синтеза состоит из трех частей: основной алгоритм поэтапного синтеза развивающейся сети и вспомогательные алгоритмы – построения путей в структуре сети и максимизации потока в сети.

Предварительный этап.

Используя общий алгоритм синтеза структуры компьютерных сетей, предложенный в [1], синтезируем конечную оптимальную структуру D_K^0 , которая определяется набором каналов и их пропускных способностей (ПС), и переходим к основной части алгоритма А1.

k -я итерация.

Здесь исходной информацией являются набор ПС каналов связи, их удельные стоимости c_K , матрица требований $H(t_K)$ и объем выделенных средств W_K .

Первоначально рассматриваются все каналы, выходящие из корня дерева – узла X_0 . Среди них отыскивается канал $(0, j)$ с наилучшим отношением максимальный поток/стоимость и его ПС.

ПС канала $(0, j)$ определяется с учетом ограничения на его стоимость, т. е. $C(\mu_{0j}^K) \leq W_K$.

Далее идут итерации, идентичные как для всех этапов, так и внутри этапа.

Итерация r .

1. Просматриваются все каналы $(i, j) \in D_{K-1}$. Для них определяется текущая ПС $\mu_{ij}^{(K-1)}$ и максимально возможная, получаемая из набора существующих ПС $D_1 = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ не превышающая условий $\Delta C(\mu_{ij}^{\max}) \leq W_K$.

Далее производим подитерации при изменении только ПС данного канала (i, j) от μ_{ij}^{\min} до μ_{ij}^{\max} и находим наилучшее отношение увеличения потока к стоимости данного канала при увеличении ПС до данного значения

$$q_{ij} = \frac{\Delta H(\mu_{ij})}{\Delta C_{ij}}.$$

2. Шаг 1 выполняем со всеми каналами. В результате находим канал $(i^*, j^*) \in D_{K-1}$, для которого показатель $q_{i^*j^*} = \max_{(i,j) \in D_{K-1}} q_{ij}$.

3. На данном шаге рассматриваем каналы, не входящие в структуру D_{K-1} , но являющиеся смежными к каналам структуры D_{K-1} . Для каждого (r, s) из них выполняются одни и те же действия.

Строится структура D_K , включающая канал (r, s) , находящаяся в ней пути и определяется оптимальная ПС этого канала μ_{rs}^O , которая дает максимум показателя $\frac{\Delta H_{\max}(\mu_{rs})}{C(\mu_{rs})} = q_{rs}$.

4. Отыскиваем канал, не входящий в структуру (r^*, s^*) , с наибольшим значением показателя эффективности $q_{r^*s^*} = \max_{(r,s)} q_{rs}$.

5. Сравниваем наилучший канал (i^*, j^*) , из множества уже существующих в структуре D_{K-1} , с каналом (r^*, s^*) , смежным с существующими.

Если а) $q_{i^*j^*} > q_{r^*s^*}$, то увеличиваем пропускную способность КС (i^*, j^*) до оптимального значения $\mu_{i^*j^*}^{(K)}$, в противном случае б) вводим в структуру новый канал (r^*, s^*) с ПС $\mu_{r^*s^*}$ и определяем остаток выделенных средств на развитие сети на K -м этапе:

$$W_K^{(H)} = W_K - C(\mu_{i^*j^*}) \text{ в случае а);}$$

$$W_K^{(H)} = W_K - C(\mu_{r^*s^*}) \text{ в случае б).}$$

Конец итерации.

6. Если $W_K^{(H)} \geq \Delta C_{\min}$, то переход к следующей итерации $K+1$, в противном случае конец K -го этапа. Структура D_K синтезирована.

Здесь ΔC_{\min} – минимальный объем капитальных средств, достаточный для увеличения текущей ПС до следующего значения самого дешевого канала.

III Постановка и математическая модель задачи 2

Заданы: места размещения узлов сети АТМ x_j , $j = \overline{1, n}$, число этапов создания функционально полной сети K , динамика роста потребностей узлов сети – изменение матриц требований для различных категорий сервиса:

$$\text{CBR: } H_{\text{CBR}}(t_k) = \|h_{ij}^{(0)}(t_k)\|, i, j = \overline{1, n}, k = \overline{1, K};$$

$$\text{VBR: } H_{\text{VBR}}(t_k) = \|h_{ij}^{(1)}(t_k)\|, i, j = \overline{1, n}, k = \overline{1, K};$$

$$\text{ABR: } H_{\text{ABR}}(t_k) = \|h_{ij}^{(2)}(t_k)\|, i, j = \overline{1, n}, k = \overline{1, K}.$$

Заданы также набор ПС каналов связи $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ и их удельных стоимостей $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$, а также прогнозируемое изменение стоимости $c_i(t_k)$. Кроме того, выделена общая сумма средств на создание сети АТМ W_Σ .

Требуется найти такое распределение средств по этапам W_k , $k = \overline{1, K}$ и определить структуру развивающейся сети на каждом из них D_k таким образом, чтобы обеспечить максимальный эффект от использования сети на всем интервале ее развития при ограничениях на выделенные средства, включая средства на создание системы защиты информации в сети.

Будем, как и раньше, оценивать эффект от использования сети объемом выполненных информационно-вычислительных работ (ИВР) или достигнутой производительности сети, т. е.

$$\max \sum_{k=1}^K H(D_k / D_{k-1}); \quad (7)$$

при ограничениях

$$H_{\text{CBR}}(t_k) \leq H_{\text{CBR зад}}(t_k); \quad H_{\text{VBR}}(t_k) \leq H_{\text{VBR зад}}(t_k); \quad H_{\text{ABR}}(t_k) \leq H_{\text{ABR зад}}(t_k); \quad (8)$$

$$T_{\text{CBR}}(H_{\text{CBR}}(t_k); D_k) \leq H_{\text{CBR зад}}; \quad (9)$$

$$T_{\text{VBR}}(H_{\text{VBR}}(t_k); D_k) \leq H_{\text{VBR зад}}; \quad (10)$$

$$T_{\text{ABR}}(H_{\text{ABR}}(t_k); D_k) \leq H_{\text{ABR зад}}; \quad (11)$$

$$k = \overline{1, K};$$

$$W_k(D_k / D_{k-1}) \leq W_{\text{выд } k}; \quad (12)$$

$$\sum_{k=1}^K W_k(D_k / D_{k-1}) \leq W_{\Sigma \text{ выд}}; \quad (13)$$

где (8) – ограничения, вызванные фактическим объемом требований пользователей в передаче информации соответствующей категории на этапе t_k ; (9), (10), (11) – ограничения на показатель качества (Q_0S) – среднюю задержку в доставке пакетов для соответствующих категорий (CBR, VBR, ABR); (12) – ограничение на выделенные средства на k -м этапе создания сети; (13) – ограничение на общий объем капитальных вложений, здесь $W_k(D_k / D_{k-1})$ – сумма средств, израсходованных на переход от структуры D_{k-1} к структуре D_k .

Заметим, что задача 2 отличается от задачи 1, наличием ограничения (13) и отсутствием ограничения (12).

Целевая функция (7) представляет собой площадь под кривой $H(D_k / D_{k-1})$.

IV Алгоритм решения динамической задачи 2

Учитывая, что в задаче 2 имеется ограничение (13), а также то, что целевая функция (7) и ограничение (13) – аддитивные функции, можем написать.

1 этап. $k = 1$.

Записываем задачу синтеза:

$$\max_{W_1, D_1} H_1(D_1 W_1 / D_0) = \Lambda_1(\xi) \quad (14)$$

при условиях:

$$T_{\text{CBR}}(t_1) \leq T_{\text{CBR, зад}}; \quad (15)$$

$$T_{\text{VBR}}(t_1) \leq T_{\text{VBR, зад}}; \quad (16)$$

$$T_{\text{ABR}}(t_1) \leq T_{\text{ABR, зад}}; \quad (17)$$

$$W_1(H_1 D_1) \leq \xi, \quad \xi = 0, \Delta W, 2\Delta W, \dots, W_{\Sigma} \quad (18)$$

Итак многократно решаем динамическую задачу 1 при переменном объеме выделенных средств ξ и получаем последовательность структур $D_1(\xi)$ и величину критерия $\Lambda_1(\xi)$.

k этап. $1 < k \leq K - 1$.

На k -м этапе основное рекуррентное соотношение динамического программирования имеет вид:

$$\Lambda_k(\xi) = \max \{H_k(D_k / D_{k-1}; W_k) + \Lambda_{k-1}(\xi - W_k)\} \quad (19)$$

при ограничениях на Q_0S на k -м этапе

$$T_{\text{CBR}}(t_k) \leq T_{\text{CBR, зад}}; \quad T_{\text{VBR}}(t_k) \leq T_{\text{VBR, зад}}; \quad T_{\text{ABR}}(t_k) \leq T_{\text{ABR, зад}}; \quad (20)$$

$$C_{\Sigma}(D_k / D_{k-1}) = W_k \leq \xi \quad (21)$$

где $\xi = 0, \Delta W, 2\Delta W, \dots, W_{\Sigma}$.

Динамическую задачу (19)–(21) решаем многократно при различных значениях ξ и получаем совокупность структур $D_k(\xi)$ и функций эффекта $\Lambda_k(\xi)$, которые запоминаем.

Наконец на последнем этапе при $k = K$ положим $\xi = W_\Sigma$ и находим

$$\Lambda_k(\xi = W_\Sigma) = \max\{H_k(D_k, W_k / D_{k-1}) + \Lambda_{k-1}(W_\Sigma - W_k)\} \quad (22)$$

$$T_{CBR}(D_k) \leq T_{CBR, \text{зад}}; \quad T_{VBR}(D_k) \leq T_{VBR, \text{зад}}; \quad T_{ABR}(D_k) \leq T_{ABR, \text{зад}}; \quad (23)$$

$$0 \leq W_k \leq W_\Sigma.$$

Заметим, что при оценке функций затрат $C_k(D_k)$ учитывается динамика изменения функций стоимости $C_i(t)$.

Найдя W_k^0 и подставляя $\xi^0 = W_\Sigma - W_k^0$ в таблицу результатов предыдущего этапа $k-1$ найдем в обратном порядке последовательность оптимальных структур $D_{k-1}, D_{k-2}, \dots, D_1$ и достигнутой производительности сети по этапам $H(D_k)$, $k = \overline{1, K-1}$.

Для того, чтобы не получить тривиальное решение ($k=1$), когда вся сеть строится за 1 этап, вводятся два ограничивающих условия:

а) $W_k^\Phi \leq W_{kr}$, где W_{kr} – максимальный объем средств, который можно освоить на k -м этапе;

б) $h_{ij}^\Phi(t_k) \leq h_{ij \text{ зад}}(t_k)$, где $h_{ij \text{ зад}}(t_k)$ – прогнозируемый объем требований (i, j) на k -м этапе.

При учете функций стоимости W учитывается падающий характер функций стоимости каналов $C_i(t_k)$. Это сдвигает максимум функции распределения средств на конец периода t_{k_i} , в то время как характер

целевой функции $\max \sum_{k=1}^K H_k(D_k / D_{k-1})$ наоборот требует сдвига максимума распределения средств на начало периода, $k=1$. Таким образом, в результате решения задачи 2 достигается наилучший компромисс между стоимостью сети (затратами) и эффективностью ее использования.

V Анализ результатов экспериментов

При проведении экспериментов была использована конечная оптимальная структура, полученная с помощью программы NetBuilder [3], а также информация о возможных пропускных способностях и их удельных стоимостях.

Таблица 1 – Возможные пропускные способности и их удельная стоимость

Пропускные способности	Удельная стоимость
2400	200
9600	500
28800	900
38400	1400
43200	1600
57600	1800
86400	2700

Матрицы требований, приведенные для каждого этапа во входном файле, были получены умножением конечной матрицы требований на соответствующий коэффициент каждого этапа. При проведении данного эксперимента использовались следующие коэффициенты:

- для первого этапа $k=0.2$;
- для второго этапа $k=0.5$;
- для третьего этапа $k=0.8$;
- для четвертого этапа $k=1$.

Затрачиваемые средства выделялись поэтапно, в соответствии с заданными коэффициентами – долями их общей стоимости. В данном эксперименте использовались следующие коэффициенты и соответствующие им суммы средств:

- для первого этапа $k=0.3$ $W_k = 67151$;
- для второго этапа $k=0.2$ $W_k = 44767$;
- для третьего этапа $k=0.25$ $W_k = 55959$;
- для четвертого этапа $k=0.25$ $W_k = 55959$.

Приведем график динамики изменения выделяемых средств с накоплением (рис. 1):

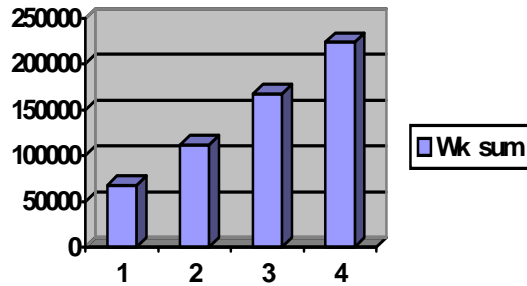


Рисунок 1

Ограничение на среднее время задержки было принято равным 5 с. Координаты узлов сети задавались входным файлом и на их основе рассчитывались длины каналов.

Соответственно рассмотрим поэтапное увеличение максимального потока в сети, полученное в результате работы алгоритма (рис. 2):

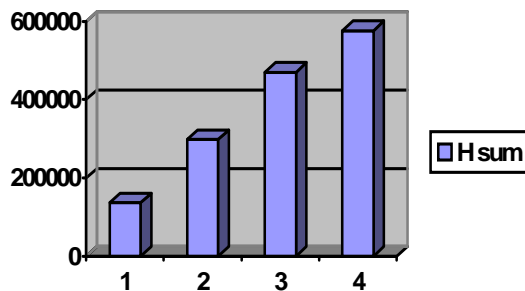


Рисунок 2

Для наглядности сравнения выделяемых средств и получаемого максимального потока представим их в едином графике в нормированном виде (график, начинающийся ниже – график максимального потока, который затем пересекает график вложений и на 3–4 этапе проходит выше него) (рис. 3).

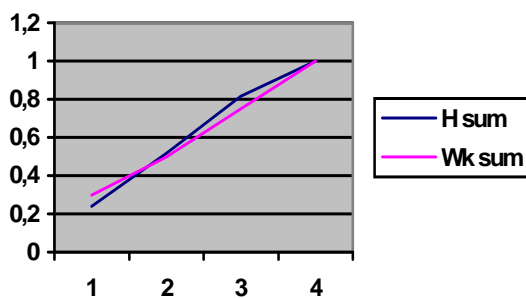


Рисунок 3

Проанализировав данный график можно предположить о меньшей эффективности вложения средств на первоначальном этапе и некотором ее снижении на конечном этапе. Рассмотрим изменение по этапам затрат на единицу потока:

0.49155053
0.376110254
0.356920074

0.388650724

Отсюда четко видно наименьшую эффективность на первом этапе.

На рис. 4–7 приведены синтезированные структуры по этапам 1 ÷ 4 в соответствии с планом развития структуры сети.

Анализируя поэтапно включение каналов в структуру, можно отметить, что первоначально строится некоторый остов будущей части сети, затем он достраивается каналами и процесс повторяется для следующей части сети.

1-й этап:

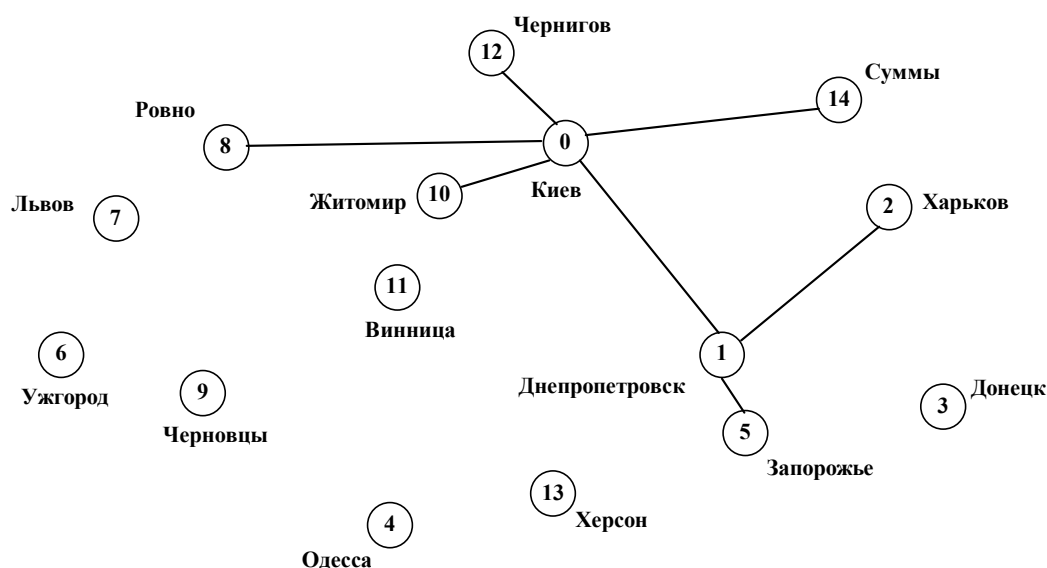
$$W_k = 67151$$
$$W_{k \text{ rest}} = 240$$


Рисунок 4

2-й этап

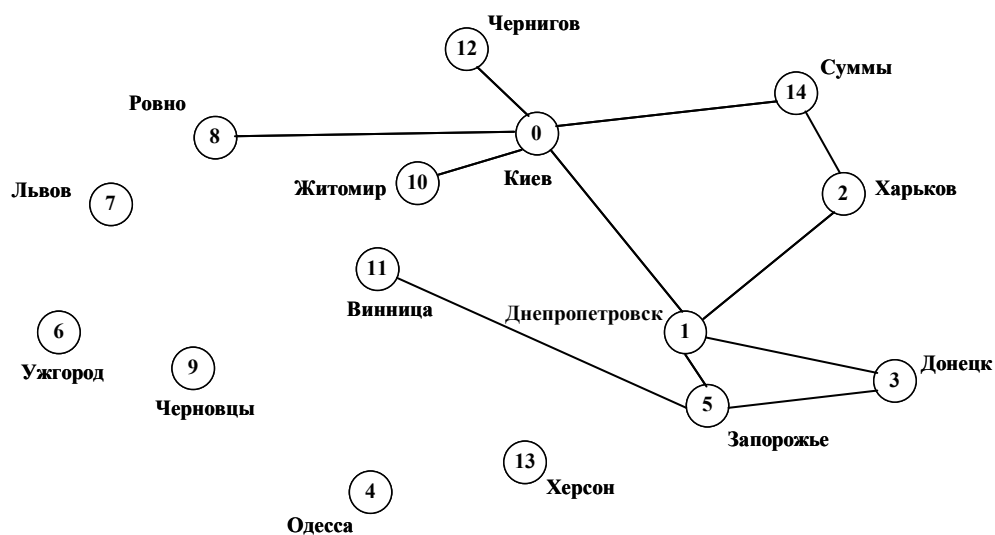
$$W_k = 44767$$
$$W_{k \text{ rest}} = 220$$


Рисунок 5

3-й этап
 $W_k = 55959$
 $W_k \text{ rest} = 3$

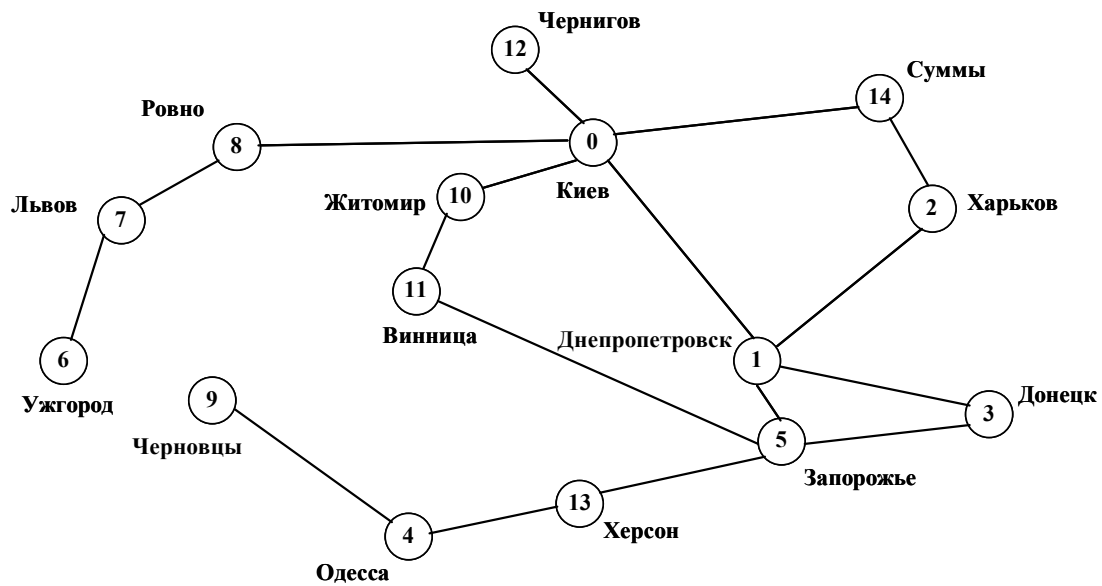


Рисунок 6

4-й этап
 $W_k = 55959$
 $W_k \text{ rest} = 3840$

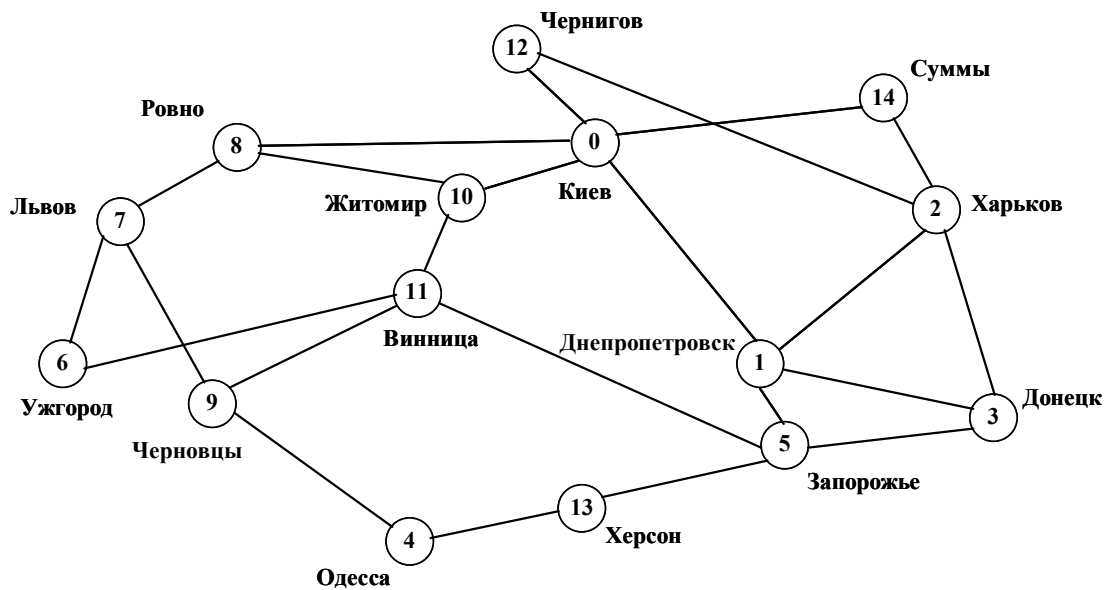


Рисунок 7

Заклучение

Необходимость учета динамики роста потребностей абонентов компьютерной сети, изменения стоимостных и функциональных характеристик компонентов сети обуславливают целесообразность постановки динамических задач проектирования топологии сетей. Предложенные в работе алгоритмы позволяют определить оптимальный план развития компьютерных сетей (в зависимости от выделенных капитальных средств) и разумный компромисс между затратами и эффективностью.

Литература: 1. Е. Ю. Зайченко, Ю. П. Зайченко. Нахождение максимального потока и анализ показателей живучести сети при отказах. – Автоматика и телемеханика, – 1996, №6. с. 102 – 113. 2. Зайченко О. Ю. Структурный синтез глобальных сетей с технологией АТМ за заданными показателями качества. – Наукові вісті НТУУ “КПІ”, – 2001. – №5. с. 5 – 11. 3. Зайченко Ю. П., Зайченко Е. Ю., Поспелов И. В. Комплекс программ анализа и синтеза структуры региональных и глобальных вычислительных сетей: – Управляющие системы и машины. – 2000. – №516. – с. 71–87.

УДК 004.056.5

НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ АТАК В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Денис Кудин, Владислав Корольков*

Центр информационной безопасности,

* Запорожский национальный технический университет

Аннотация: Анализируется статистика инцидентов компьютерной безопасности, оценивается динамика роста количества инцидентов в год, предлагается усовершенствованная классификация категорий нарушителей, а также улучшенные методы анализа и моделирования атак на информационные системы.

Summary: Analyses statistics of computer security incidents, gives an evaluation of annual increase of incidents committed using high information technologies. New improved methods of intruders classification and attack modeling are proposed.

Ключевые слова: Атака, нарушитель, моделирование, угроза, безопасность.

I Введение

Исследование и моделирование атак на информационно-вычислительные сети является одним из ключевых вопросов информационной безопасности (ИБ) автоматизированных и информационных систем. На практике данные вопросы традиционно решаются путем учета известных атак и классифицированием их относительно общих характеристик осуществления атак, таких как: цель атаки, удаленность, уровень модели OSI и т. п. Недостатком указанного подхода является невозможность моделирования атак в виде проявления множества всевозможных угроз ИБ, а значит, определения их первопричин и полного набора факторов, реально влияющих на ИБ системы.

II Анализ статистики инцидентов компьютерной безопасности

По данным Координационного Центра CERT® [1] на 18 июля 2002 г. за период с 1988 по второй квартал 2002 года зарегистрировано **143505** инцидентов компьютерной безопасности. Сведения о количестве инцидентов за указанный период представлены в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1 – Количество инцидентов компьютерной безопасности за период 1988–2002 гг.

Год	Количество инцидентов	Год	Количество инцидентов
1	2	1	2
1988	6	1996	2573
1989	132	1997	2134
1990	252	1998	3734
1991	406	1999	9859
1992	773	2000	21756
1993	1334	2001	52658
1994	2340	2002 (I-II кварталы)	43136
1995	2412		